LES FORMALISMES DE LA MODELISATION SYSTEMIQUE

Jean-Louis Le Moigne*

Le contexte de cette publication en 2005. « FORMALISMS OF SYSTEMIC MODELLING"

Cette étude fut initialement rédigée en français, fin 1992, à la demande du professeur H. Greppin (Université de Genève), sous la forme d'une contribution au séminaire qu'il organisait sur « Some physicochemical and mathematical tools for understanding of living systems . Elle fit l'objet d'une 'Note de recherche GRASCE, Université d'Aix Marseille III, URA CNRS 935'.(NR 93-01)' Comme elle reprenait des arguments exposés et développés dans nombre de mes publications en langue française sur ce thème, je ne songeais pas à l'époque la faire publier. Avec ses collègues de l'université de Genève, le pr. H. Greppin me proposa de la traduire et de la publier en anglais dans un recueil rassemblant les travaux exposés au séminaire qu'il venait d'animer. C'est ce texte anglais, repris également par numérisation prés de quinze ans plus tard que l'on trouvera attaché par un lien à cette version français .
Je crois utile de le rendre aujourd'hui accessible sur le site Internet www.mcxapc.org pour répondre à un reproche qui m'est quelquefois objecté, celui du trop petit nombre de travaux de l'Ecole aixoise de Systémique disponibles en langue anglaise. Les ressources de la numérisation, et de la toile internet, comme le confraternel agrément de H Greppin permettent aujourd'hui de mettre aisément à la disposition des chercheurs intéressés un des textes caractéristique de cette Ecole aixoise.
Je crois en le relisant que la présentation, certes très sommairement argumentée ici, des formalismes de la modélisation systémique présentée dans cet article est toujours pertinente, 15 ans après. Des branches se sont déployées, mais le tronc et ses enracinements épistémologiques se maintiennent et assurent leur fonction d'irrigation ascendante et descendante dans les champs de la modélisation intelligente des systèmes complexes.
Je n'ai pas cru devoir modifier les références originales, lesquelles sont aujourd'hui inégalement accessibles.je m'efforcerai de documenter plus soigneusement les chercheurs qui me le demanderaient ; (lemoigne@univ-aix.fr)

* Reproduction établie par numérisation en avril 2005, de la 'Note de Recherche GRASCE, Université d'Aix-Marseille, URA CNRS 935', NR 93-01. Ce texte, établi en français fin 1992, était rédigé afin d'être traduit en langue anglaise et publiée dans un ouvrage collectif publié par l'Université de Genève. Il a paru légitime de joindre cette 'version originale' à la nouvelle publication sur le site du Réseau Intelligence de la Complexité MCX-APC de la version anglaise. Je n'ai pas modifié le texte de cette version originale, hormis quelques détails de forme. Les références bibliographiques sont donc toutes antérieures à 1992, mais nombre d'entre elles ont fait depuis l'objet de nouvelles éditions , et sont souvent d'accès aisé en 2005.

LES FORMALISMES DE LA MODELISATION SYSTEMIQUE

Jean-Louis Le Moigne*

Peut-on se proposer d'établir et de communiquer quelques règles pouvant guider le bon usage de la raison dans ces magmas complexes et familiers que l'on désigne par les affaires humaines[1] ? Le projet de la modélisation systémique est sans doute de permettre à chacun des acteurs qui la pratique, devenant ainsi modélisateur, de se construire quelques systèmes de symboles sur lequel il pourra exercer sa raison en les transformant à sa guise, de représentation en représentation, tour à tour diplomatique et théâtrale[2] ; exercice que nous entendons habituellement sous le nom de "réflexion", par lequel l'acteur construit son projet dans sa tête avant et afin de l'incarner par son action[3].

C'est cette conception de la Modélisation Systémique (M.S.) qui légitime son projet d'entendement ou d'intelligence de la complexité[4] : perception elle-même complexe de phénomènes perçus complexes, et donc irréductibles à un modèle fini, aussi compliqué soit-il. Perception que s'interdit la Modélisation Analytique qui depuis bientôt deux siècles s'est installée de façon quasi-monopoliste dans la culture scientifique occidentale.

1. SUR LA FORMALISATION ET LES FORMALISMES DE LA MODELISATION EN GENERAL

Ce projet de la M.S., se ré-instituant progressivement non seulement comme une alternative plausible à la modélisation analytique, mais aussi comme une alternative plus ambitieuse, affirmant sa capacité à l'intelligence modélisable de l'immodélisable complexité des affaires humaines, appelle pour être praticable, l'explicitation de quelques "formalismes" (ou systèmes de règles) au moins aussi explicites que ceux proposés par les '*Regulae ad directionem ingenii*' que René

---

* Reproduction établie par numérisation en avril 2005, de la 'Note de Recherche GRASCE, Université d'Aix-Marseille, URA CNRS 935', NR 93-01. Ce texte, établi en français fin 1992, était rédigé afin d'être traduit en langue anglaise et publiée dans un ouvrage collectif publié par l'Université de Genève. Il a paru légitime de joindre cette 'version originale' à la nouvelle publication sur le site du Réseau Intelligence de la Complexité MCX-APC de la version anglaise. Je n'ai pas modifié le texte de cette version originale, hormis quelques détails de forme. Les références bibliographiques sont donc toutes antérieures à 1992, mais nombre d'entre elles ont fait depuis l'objet de nouvelles éditions , et sont souvent d'accès aisé en 2005.

Descartes ne put achever avant sa mort: *Règles pour la direction de l'esprit*[5] qui pourtant constituèrent pendant près de trois siècles le formalisme matriciel de la modélisation analytique. Référence toujours citée et rarement relue, au point qu'elle constitue pour beaucoup la définition auto-référentielle de tout formalisme : *'Représenter par des figures nues'* (Règle XIV)

Il nous faut donc d'emblée nous désengluer de ces définitions analytiques des formalismes et de la formalisation par laquelle on les établit, définition que reprennent encore la plupart des dictionnaires contemporain de philosophie épistémologique et logique. Non pas pour les rejeter ou contester leur pertinence dans leur domaines de définition dès lors qu'il est reconnu dans ses sévères limites; mais pour les débarrasser assez afin de pouvoir disposer d'un contenant qui ne mutile pas un contenu que l'on souhaite suffisamment puissant, et qui pourtant s'insère aisément sur la trame sémantique que brode la communication scientifique contemporaine"

.Entendons dès lors *la formalisation par l'exercice cognitif par lequel une action (un système concret) est transformé en une forme (un système abstrait),* et acceptons que l'opération inverse oit comprise comme *l'interprétation,* ces systèmes concrets et abstrait pouvant être considérès comme des "systèmes de signes" (nous dirons bientôt des s*ystèmes de symboles).*

Et entendons *le formalisme comme un système symbolique de règles opérant un tel processus de transformation d'expériences (dans l'univers Φ, Φ pour physique selon P. Valéry) en connaissances (dans l'univers Ψ, Ψ pour psychique selon P. Valéry).* Est donc fo*rmalisme tout système de signe résultant de la formalisation ;* Mais cette définition ne réduit pas les formalismes à quelques variétés d'une logique formelle tout en les incluant sans réserve

Inclusion d'autant mieux venue qu' elle nous incite à tirer parti de la millénaire expérience de la formalisation et en particulier des multiples initiatives des mathématiques, arithmétiques, géométriques et logiques ; nous disposons d'un patrimoine presque inépuisable , au sein duquel peuvent se forger bien des apprentissages de la formalisation et se retrouver bien des modèles originaux de formalismes La tentation, bien sûr est permanente depuis un siècle de réduire la formalisa ion à la mathématisation et les formalismes a des systèmes de 1ogiques formelles[6] , tant les réussites de la physique théorique devenant physique mathématiques séduisent les modélisateurs ... en biologie, en économique ou en linguistique théorique. Mais de telles réussites font souvent illusion; H Simon l'a très bien montré en considérant l'émergence de la formalisation en chimie au XIXéme siècle :

Les langages formels à l'aide desquels l'homme s'est révélé à lui-même les formes (patterns) de la Nature dans un de ses domaines ne sont pas nécessairement appropriés ou utiles, pour la compréhension des phénomènes dans d'autres domaines
Les outils du calcul si puissant en physique, contribueront peu à la Chimie au XIXème siècle. La chimie a eu à développer son propre langage.

Ce langage a du admettre l'énorme variété combinatoire de composés qui peuvent être formés à partir des éléments. I1 eu a représenter les interactions qui peuvent n'être pas additives entre des molécules complexes ...

Ce langage chimique est fondamentalement non-numèrique, discret et combinatoire. Ses règles d'inférences sont nombreuses, éclectiques, très empiriques: sous tous ces aspects, il diffère beaucoup du langage de la physique.

Nous devons convenir que ce n'est pas parce qu'un langage est apparu puissant dans un domaine qu'il le sera dans tous les autres. "H.A Simon (1965)[7]

Cette réflexion sur la nature des formalismes révèle surtout les deux critères implicites à tout entreprise de formalisation.

Un critère de rigueur intellectuelle d'abord.

Il peut y avoir, écrit H A *Simon* (1965/1967), *des modèles formels qui bien que rigoureux ne ressemblent pas aux modèles utilisant les mathématiques traditionnelles*[7b]. Le moraliste, le juriste, le grammairien, le rhéteur et parfois le poète ou l'artiste le savent d'une ancestrale expérience. Dés lors bien sûr que la rigueur s'entend dans la référence du raisonnement à un système d'axiomes explicites, axiomes qui ne sont pas nécessairement ceux de la seule déduction par non contradiction. Les trois axiomes construisant le syllogisme parfait d'Aristote, et aujourd'hui 1e formalisme des logiques déductives (rarement connu explicitement par les intégristes de la formalisation mathèmatico-logique) sont un système d'axiomes formels parmi d'autres possibles Il ne sont pas plus 'rigoureux' que d'autres, et Aristote soulignait déjà qu'ils ne s'imposaient pas en raison. « *Qu'est ce qui nous force à tirer la conc1usion d'un syllogisme-* interrogeait P Valery dans les 'Cahiers' (T III, 1900, p 320) - *Rien dans la logique ne répond; et nous ne la tirons pas toujours »*

L'objectif essentiel de toute formalisation devra donc être celui de l'explicitation des axiomes ou des règles conventionnelles par lesquelles sera conduit tout exercice de modélisation. '*La logique ou l' art de penser'* des Messieurs de Port-Royal avait regroupé, à la fin du XVIIème siècle, les axiomes de la Modélisation Analytique (MA) qu'elle empruntait aux *Analytiques* d'Aristote et au *Discours de la Méthode* de Descartes (et donc aux *Règles pour la Direction de*

l'Esprit, qui ne furent publiées qu'au début du XVIIIème *siècle)* ; en même temps, d'autres Messieurs de Port-Royal publiaient '*Les Pensées*' de Pascal, mort dix ans auparavant, sans doute un but apologétique, mais en nous donnant ainsi indirectement une axiomatique originale de la *Modélisation Dialectique* qui devra attendre la *Science de la logique de* Hegel pour bénéficier d'un statut académique comparable à celui de la MA.
Ne faut-il pas pourtant relire cet axiome pascalien qui constitue la première alternative moderne, et l'une des mieux écrites, à l'axiomatique de la MA. ?

"Donc toutes choses étant causées et *causantes, aidées et aidantes, médiates et immédiates, et toutes s'entretenant par un lien naturel et insensible qui lie les plus éloignées et les plus différentes, je tiens pour impossible de connaître les parties sans connaître le tout, non plus que de connaître le tout sans connaître particulièrement les parties"* (Pensées, 199-72-9, p 527 de l'édition Lafuma

D'Héraclite à Platon, de Pascal à Hegel par tant d'autres[8], la modélisation dialectique a su se construire quelques corps d.axiomes sur lesquels elle peut s'exercer, et à l'aune desquels *le* raisonnement peut évaluer sa propre rigueur. Le monopole de la rigueur que s'était implicitement attribué au nom de la logique formelle la modélisation analytique depuis deux siècles, s'avère contingent; en établissant au fil d'une riche histoire, ses axiomatiques propres (ses *topos,)* la modélisation dialectique témoigne de la faisabilité des alternatives à la modélisation analytique. La modélisation systémique doit pouvoir, en explicitant ses axiomatiques modélisatrices (ses formalismes donc), assurer ses propres critères de rigueur intellectuelle et se laver ainsi du soupçon de laxisme que trop de discours bavards, superficiels et parfois quasi-mystiques sur *l'approche-systéme* ont pu suggérer aux académies traditionnelles, décourageant ainsi nombre de scientifiques de l'effort difficile de méditation épistémologique qu'implique toute investigation interdisciplinaire.

Un critère de faisabilité ensuite.

Un exercice de formalisation doit être un exercice effectivement et universellement praticable. En écrivant *Les Analytiques* Aristote révélait la faisabilité et l'enseignabilité de ce formalisme classique de la M.A. qu.est le syllogisme. Mais par mille *détours* (les *tropes),* il accumulait aussi les exemples, illustrations, analogies, métaphores qui témoignaient d'une faisabilité que l'ésotérisme des formalismes du syllogisme auraient sans doute dissimulé: '*Ce n'est pas BARBARA ou BANALIPTON* (deux des quinze figures du syllogisme proposé par les scolastiques) *qui forment le raisonnement. Il ne faut pas guinder l'esprit,* rappelait Pascal dans ses réflexions sur '*L'art de persuader'* (Oeuvres, ed. Lafuma, p. 359).

La faisabilité de la modélisation systémique s'argumente par une méditation sur les innombrables exercices de modélisation des phénomènes complexes qu'accumule l'humanité. L'exercice mériterait d'être tenté qui mettrait en valeur les innombrables apports de la *Rhétorique* et des *Topiques* d'Aristote à la modélisation systémique contemporaine. Bornons nous ici à un argument plus "moderne" : celui de la définition du concept de *système général* par *L'Encyclopédie, Dictionnaire raisonné des sciences des arts et des métiers* publié par M. Diderot,

Les systèmes généraux, qu'ils appelaient plus communément diagrammes, étaient formés par la somme de *tous les systèmes particuliers et comprenaient par conséquent tous les sens employés dans la mélopée* p. 311 du Tome 32 de l'édition Pellet, à Genève, 1779.

Le détour de l'Encyclopédie pour construire effectivement le concept de système par les *systèmes de notation musicale* (entre beaucoup d'autres, du système du monde au système financier de Law), révèle peut-être le coeur de la modélisation de la complexité par des systèmes de symboles, aisément et universellement praticables : il s'avère possible de représenter - ou de modéliser - l'ineffable, l'indicible, l'immodélisable au sens analytique strict du terme: les systèmes de symboles de notation musicale nous permettent de représenter effectivement et intel1igiblement, (dans l'univers Ψ), sous la forme médiatée de connaissances symbolisées, des expériences perçues ou perceptibles par un acteur, fut-il récursivement, le modélisateur de sa propre action (le compositeur). Représentation dont nul ne prétend qu'elle épuise la description du phénomène considéré. Représentation artificieuse, téléologique, complexe, et pourtant intelligible, représentation qui ne prétend pas séparer la formalisation et l'interprétation, empruntant à la modélisation dialectique la règle familière de la récursivité (que la M.A. se contraint à bannir de ses pratiques depuis que les *Principia Mathematica* (1910) lui ont révélé ses dangers pour sa propre axiomatique déductive). Le symbole, *signe de re-connaissance (symbolus* en latin, *sumbolon* en grec) exprimant *l'action de conjonction (sumballein* en grec: joindre, réunir), redevient l'outil de la modélisation systémique, sans doute depuis que C.S. Pierce l'a caractérisé dans sa complexité instrumentale en le différenciant des deux autres formes du signe auxquelles on le réduisait trop souvent : l'indice (ou l'index, qui définit un rapport causal) et l'icône (qui définit un rapport analogique)[9]. Et le système de symboles va permettre cette instrumentation en conjoignant les deux fonctions de *production* de symboles (et donc de formalisation) et *d'interprétation de* symboles: formes potentiellement productrices de formes et de sens pour et par l'acteur qui les "traite"[10]. Ne peut-il concevoir ces *Nombres plus subtils* dont rêvait P. Valéry (qui les notait: '*N* + *S*'):

« J'ai rêvé que -comme on a inventé (par une sorte de nécessité) des symboles et expressions complexes pour les besoins de la *physique mathématique, (tout un matériel d'opérateurs qui permettent de penser à la Maxwell, etc...), ... Ainsi pourrait-on tenter de créer des notions ad hoc*

pour penser Je fonctionnement du vivant -sentant-mouvant-pensant" P. Valery 1943 (*'Cahiers'* p 857)

« Des notions quasi quantitatives non numérables mais combinables qui résument les conditions permanentes de la connaissance, et s'étendent à la *perception comme à la transformation".* P. Valéry, (1924; p- 8 J 5)

Ainsi s'emboîtent les deux critères que nous nous proposons pour identifier les formalismes de la modélisation systémique :

Un système de règles explicites *(heuristic search,)* des *"topos',* ou une axiomatique, une grammaire ou des *syntagmes,* qui permette d'évaluer la rigueur de la construction par sa conformité à un mode d'emploi préalablement explicité et communicable,

Un système de symbolisation, de *tropes,* ou des *paradigmes* graphiques et picturaux autant que discursifs (des *langages)* qui permette la production de sens, l'imagination de propriétés potentielles, et par là, les représentations intentionnelles et intelligibles par et pour les acteurs des phénomènes perçus complexes au sein desquels ils interviennent, phénomènes qu'ils modélisent pour raisonner leurs conduites[11].

II. LES ENJEUX EPISTEMOLOGIQUES DE LA MODELISATION SYSTEMIQUR

Ce cadre conceptuel (règles heuristiques et systèmes symboliques, topes et tropes, syntagmes et paradigmes, ...) par lequel nous pouvons définir un formalisme de modélisation doit être immergé dans un *bain épistémologique* pour pouvoir être rempli : si le formalisme de la modélisation systémique n'est pas celui de la modélisation analytique, ce n'est pas parce que le cadre formel dans lequel il s'inscrit est différent: il est toujours défini par un jeu de règles et un système de symboles. C'est parce que les options épistémologiques qui le fondent et par lesquelles se spécifient tel et tel jeux de règles et tel et tel systèmes de symboles, sont différentes.

Les formalismes de la modélisation analytique furent si imprégnés des épistémologies positivistes, naturalistes ou réalistes au sein desquelles ils se sont progressivement instrumentés au XIXème siècle (au point d'être pendant un temps tenus pour les archétypes de "la" méthode scientifique), que l'on a aujourd'hui encore, quelques difficultés à les identifier dans leur autonomie méthodologique : la fréquente réduction de la formalisation à la mathématisation fut en quelque sorte le prix de cette confusion.

En nous appelant, dès 1934, à un *"Nouvel Esprit Scientifique",* G Bachelard concluait par la restauration d'une *"épistémologie non cartésienne"* que les développements des *nouvelles sciences",*

dans les creusets de la cybernétique et des structuralismes allaient rendre effective entre 1950 et 1970. Epistémologies héritières des paradigmes nominalistes et dialectiques, dont la prégnance dans les pratiques de la modélisation scientifiques est au moins aussi ancienne que celle des paradigmes ontologistes et déterministes sur lesquels se fondent les réalismes et positivismes contemporains. Depuis que Jean Piaget a proposé, dans son encyclopédie *Logique et Connaissance Scientifique,* (Pléiade, 1967), de les reconnaître sous le nom des épistémologies constructivistes, nous pouvons plus aisément repérer leurs hypothèses fondatrices, et les argumenter pour en inférer les quelques jeux de règles par lesquelles peuvent aujourd'hui se caractériser des formalismes de la modélisation systémique.

On a eu à plusieurs reprises (J.L Le Moigne, 1987, 1989, 1990 a, 1990 b, 1991, 1992), l'occasion de rappeler les grandes hypothèses constitutives des épistémologies constructivistes contemporaines dans la plupart de leurs formulations (Epistémologie génétique chez J, Piaget, Epistémologie de la complexité chez E, Morin, Epistémologie Ingénieriale ou empirique chez H,A Simon, Constructivisme radical chez E von Glasersfeld ou P, Watzlawick, Epistémologie de la Cybernétique de deuxième ordre chez H Von Foerster, Epistémologie de la Pragmatique chez G, Bateson). Aussi peut-on se limiter ici à un bref rappel de ces hypothèse "généralement acceptées' par la plupart des chercheurs qui participent aujourd'hui aux développements de la systémique entendue comme la science des systèmes (et donc *des méthodes de modélisation* ***comme et par*** *un système en général).* Convenons que les divers tenants du *systèmisme,* entendu comme une idéologie en "isme" parfois quelque peu impérialiste, ne partagent pas tous cet agrément, en remarquant que ce désaccord n'affecte pas notre propos qui concerne l'épistémologie et non *l'idéologie,* la discipline scientifique et non la doctrine philosophique.

Il semble en effet possible de regrouper en trois grandes options conceptuelles les hypothèses fondatrices des diverses constructivismes sur lesquels peuvent aujourd'hui se référer les formalismes de la M.S,

Une hypothèse "phénoménologique' : *Nous ne percevons que des opérations, c'est à dire des actes* écrivait P. Valery (Cahiers 1). La perception modélisable est celle de l'expérience de l'acteur intervenant dans un univers qu'il perçoit actif, '*Pour se représenter un arbre,* fait dire P Valery à Léonard de Vinci, *on est forcé de se représenter quelque sorte de fond sur lequel il se détache'.* Percevoir cet arbre, c'est percevoir l'interaction de l'arbre et de son contexte, l'action produite par la perception de cette interaction

Pour quasi triviale qu'elle apparaisse, cette hypothèse *phénoménologique* va s'avérer, en pratique, très contre intuitive dans la plupart des cultures contemporaines, fondées sur une forte

hypothèse *ontologique* (cet arbre existe en soi. et il est analysable comme tel, par un tas de sciure par exemple) sur laquelle se sont aisément établi les formalismes de la MA.

L'hypothèse phénoménologique implique presque nécessairement un corollaire important qui va priver les épistémologies constructivistes du critère présumé rassurant de *la vérité objective.* La "réalité" que l'acteur expérimente et qu'il se représente en la percevant, est celle que lui livre cette représentation, Ce n'est donc peut-être pas *la réalité en soi,* dans son éventuelle essence ontologique, indépendante de l'observateur et de l'observation que peut connaître l'acteur. Il n'accède qu'aux représentations qu'il se construit de la réalité singulière qu'il expérimente *(L'invention de la réalité* 1981-89[12]). Elle n'a donc plus pour lui réalité objective, certainement indépendante de l'observateur, et donc imposable en vérité, ou en évidence, à tous les autres observateurs concevables.

Une hypothèse téléologique: Dès lors que l'observateur convient qu'il n'accède qu'à son expérience de l'action, il doit reconnaître son propre projet d'accès à cette expérience. C'est par la *causa finalis,* la cause finale, l'intention, que l'expérience active se conçoit, "*Afin d'éclairer la pièce, il appuie maintenant sur l'interrupteur de la lampe".* H. von Foerster[13] souligne la différence entre cette représentation de l'action et celle proposée par l'hypothèse déterministe traditionnelle, en remarquant le sens du changement de conjonction: Du *"parce que"* au *"afin de"* (ou de la *cause efficiente* à la *cause finale* selon Aristote) : *"Parce qu'il a appuyé sur l'interrupteur de la lampe. la pièce est maintenant éclairée',* dira une modélisation analytique se référant à cette hypothèse déterministe (elle aussi très prégnante dans les cultures scientifiques contemporaines). Pour la M.S. l'hypothèse téléologique constituera en pratique une référence très puissante: Le célèbre article de N. Wiener, A. Rosenblueth, et J. Bigelow, *Comportement, Intention, Téléologie* (1943)[14] qui restaurera le statut de l'hypothèse téléologique dans les cultures scientifiques contemporaines, rendra culturellement concevables les premiers formalismes de la *modélisation cybernétique* (Klir et Valach, 1966), et par là ceux de la *modélisation systémique,* en leur livrant les concepts de *boite noire ("qu'est ce que* ça *fait* ?" plutôt que *"comment c'est fait* ? "), de *feed-back" et de comportement téléologique.*

Une hypothèse de procèduralité de la rationalité, qui se définit par contraste avec l'hypothèse positiviste de la naturalité de la logique déductive. Bien raisonner n'est pas nécessairement raisonner selon le moule syllogistique parfait de la logique déductive. La "démonstration vérificatrice" du raisonnement hypothético-déductif ne constitue qu'un des modes du vaste champ des raisonnements reproductibles et argumentables que l'esprit humain peut

concevoir. Les *méthodes de raisonnement* constituaient pour Aristote une ressource d'investigation de la complexité du monde plus importantes que la seule logique syllogistique des *Analytiques*[15], la lecture des *Topiques* comme *de La Rhétorique* en témoigne de mille façon. H.A. Simon a proposé en 1973-76 de prendre acte de cette infinie puissance des multiples *procédures* que peut construire et mettre en oeuvre la raison, en différenciant une *rationalité substantive* (ou déductive. ou syllogistique parfaite. ou algorithmique) et une *rationalité procédurale* (ou délibérative. argumentative. ou dialectique ou heuristique)[16].

Cette conception procédurale (et donc communicable) de la rationalité est certes consciente de la modestie qu'implique l'absence - en raison - de tout critère universel de validation ultime autre que celui des "croyances" de l'acteur, Mais elle rend possible la procéduralisation et donc la maîtrise cognitive de ces formes de raisonnements familiers que bannit la logique déductive traditionnelle, que sont les raisonnements réflexifs et récursifs, spéculaires et autoréférentiels, les raisonnements par tâtonnements fins-moyens, par tâtonnement essais-erreurs, et bien sûr les raisonnements analogiques et dialectiques d'investigations heuristiques *(heuristic search*[17].

Le projet du raisonnement est de produire du sens plutôt que de le détruire en ne privilégiant que la forme. La reconnaissance des formes concevables et communicables, les "procédures", rend possible cette production raisonnée de sens si familière dans l'exercice du raisonnement par analogie. Au *critère de vérité objective* du raisonnement déductif, ne peut-on substituer le *critère de faisabilité projective* du raisonnement procédural ? : Les praticiens de la modélisation systémique relisent volontiers aujourd'hui GB Vico 1710) pour qui '*le vrai e*st *le faire même'*[18].

III, LE SYSTEME GENERAL, GENOTYPE DU FORMALISME DE LA M.S.

La modélisation systémique se définit par le projet de la modélisation des phénomènes perçus complexes et donc à la fois intelligibles et irréductibles à un modèle fini, Elle ne se caractérise donc pas que par son *résultat,* un modèle fini, mais aussi par sa *procédure ;* elle est *à la fois action de modéliser et modélisation d'actions.* Elle n'implique pas une *théorie des modèles* mais une *théorie de la modélisation.* Elle se comprend par le projet du modélisateur qui se sait actif et partie prenante dans la production des modèles des phénomènes auxquelles il s'intéresse parce qu'il y intervient intentionnellement. Elle est modélisation d'un *système observant*[19] et donc d'un système qui s'observe lui-même dans ses actions : nécessairement "réflexif", le modélisateur devient '*système intelligent, capable de s'observer modélisant,* et *donc de* se *construire des représentations de ses actions'*[20].

Réflexivité qui se comprend dans l'irréversible écoulement du temps de l'action Si le modèle prétend arrêter le temps de l'action modélisatrice, la modélisation s'entend dans cette irréversibilité, La M.S perçoit ici lucidement la relative pauvreté des systèmes de symboles par lesquels elle peut exprimer la temporalité des actions qu'elle modélise. Les développements annoncés des techniques de modélisation vidéographique et de l'idéographie dynamique[21] permettront peut-être dans un proche avenir de concevoir de nouvelles pratiques modélisatrices moins contraintes par les outils ?

Téléologie, Récursivité, Irréversibilité..., ces caractéristiques épistémologiques que s’est donnée la M,S. pour aborder en *raison gardant* la modélisation des phénomènes perçus complexes, vont conduire à la conceptualisation conjointe du *formalisme du Système Général* et de la *formalisation par Systémographie.* La procédure de conception de modèles (systèmes de symboles computables) de phénomènes perçus complexes *comme et par un Système Général* (S.G.) que l'on désigne par *systémographie,* se définit et se caractérise aisément dès lors que le génotype de la modélisation est épistémologiquement argumenté et construit[22]. Il suffit sans doute de rappeler l'idéogramme (ou système de symboles) par lequel on la présente habituellement.

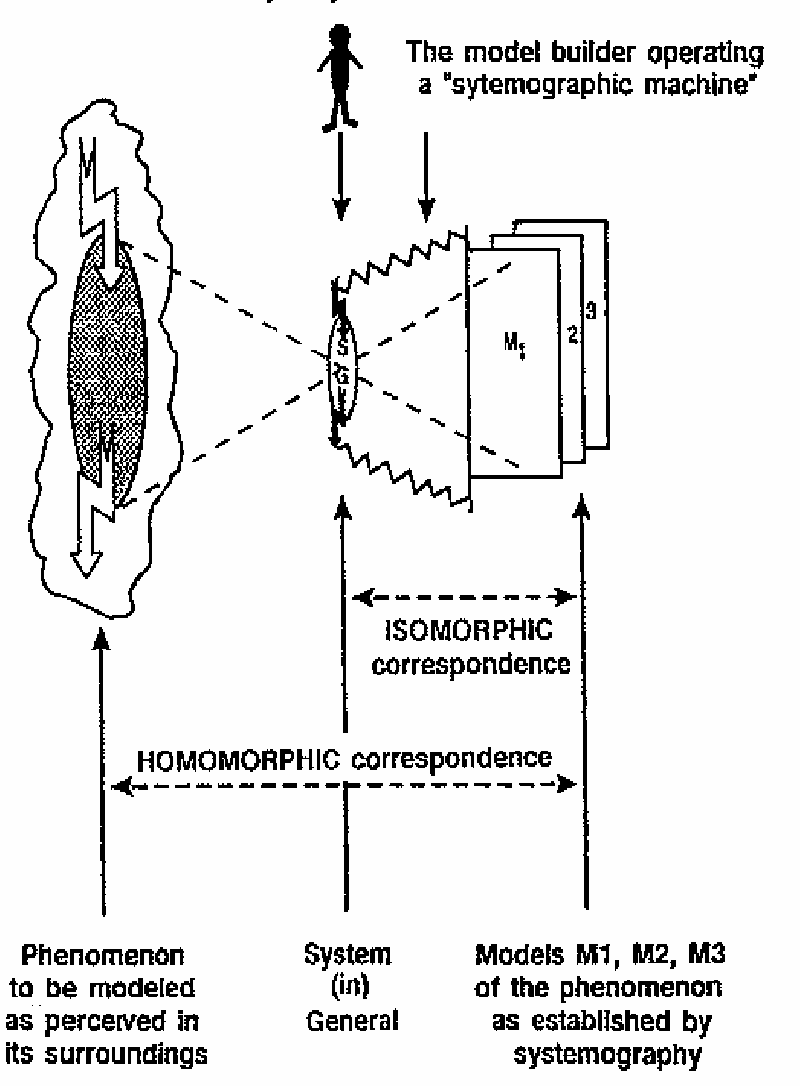
On peut utilement se proposer la métaphore du *génotype* pour caractériser le concept coeur du *formalisme* de la M.S., *le concept de Système Général.* J'emprunte cette métaphore a J.P. Dupuy (1984) qui l’introduisait précisément pour proposer un *bon usage des notions de complexité* et *d'autonomie dans la pensée du socia*[23].

Soit un génotype. J’entends par là une matrice, une structure, un mécanisme, une règle du jeu. Ce n'est donc pas nécessairement le génome d'un être vivant ... Quels sont les phénotypes que ce génotype est capable ou susceptible d'engendrer ? *On sait aujourd’hui que même pour des génotypes très simples, et en particulier déterministes, la réponse à cette question peut-être d’une complexité inextricable: parce que les phénotype sont eux-mêmes complexes, parce que l'ensemble qu'ils constituent est d'une richesse inépuisable, parce le passage du génotype aux phénotypes achoppe sur des problèmes de calculabilité difficilement ou pas du tout soluble. ... Alors même qu'il est une pure construction de l'esprit, le modèle comme génotype se présente comme doué d'une certaine autonomie, capable de produire de la nouveauté et de l'inattendu. ... Le passage du génotype au phénotype (peut-être considéré comme) l'actualisation d'une virtualité".*

Si nous *entendons cette construction de l'esprit qu'est le génotype* par le concept bien formé de *Système Général, et les* phénotype que l’on peut engendrer - ou actualiser - à partir *de cette* construction virtuelle comme des *modèles que l'on construit par systémographie d’un complexe,* on

SYSTEMOGRAPHY

Systemography is a procedure allowing one to build up models of a phenomenon perceived as complex which is intentionally represented as and by a system in General



Directions for use:

1. Centering: Construction of M by *isomorphy* with a general system
2. Processing: Documentation of M by *homomorphic* correspondence with perceived features of the phenomenon
3. Interpretation: Simulation of possible actions on M to anticipate the possible consequences in the phenomenon

peut interpréter cette métaphore comme une définition de la modélisation systémique, dés lors que l'on comprend le génotype Système Général dans sa dualité, *à la fois matrice et règle.*

Matrice, il est modèle en général, (ou "paradigme exemplaire" si l'expression n'était pas pléonasme !), modèle d'une organisation ou d'un complexe d'actions téléologiques ;

Règle (ou syntagme), il est procédure de construction, par homomorphisme de modèles phénotypes du phénomène considéré par le modélisateur.

Matrice et règle. il définit *la double conjonction de la M.S. : construire des modèles (phénotypes) COMME (matrice) et PAR (RégIe) (Génotype) un Système Général (Génotype).*

C'est cette *double* conjonction 'du *comme* et *du par',* du '*paradigme* el *du syntagme',* des *'Tropes el des Topes',* qui va nous permettre d'expliciter les formalismes de la M.S., formalismes sans doute encore embryonnaires, qui sollicitent *plus l'intelligence modélisatrice* que *le contrôle vérificateur,* qui visent plus à *comprendre* une situation perçue en lui donnant du sens *(afin de),* qu'à *résoudre* un problème déjà posé en lui présentant des moyens *(parce* que).

Les formalismes de *la modélisation systémique* ne sont ils pas alors ceux du *disegno* selon Léonard de Vinci, ou ceux de *l'ingenium selon* GB Vico; et plutôt que ceux de *l'analyse* selon Descartes ou de *l'organisme* selon A, Comte ou H. Spencer ?

"Le «Disegno» (la représentation, le dessin à dessein) est d'une excellence telle qu'elle ne fait pas que montrer les oeuvres de la nature, mais qu'elle en produit des forme infiniment plus variées,," écrivait Léonard de Vinci[24],

"L'Ingegnio" (l'ingenium) est cette faculté mentale qui permet de relier manière rapide, appropriée et heureuse des choses séparées", écrivait G Vico[25].

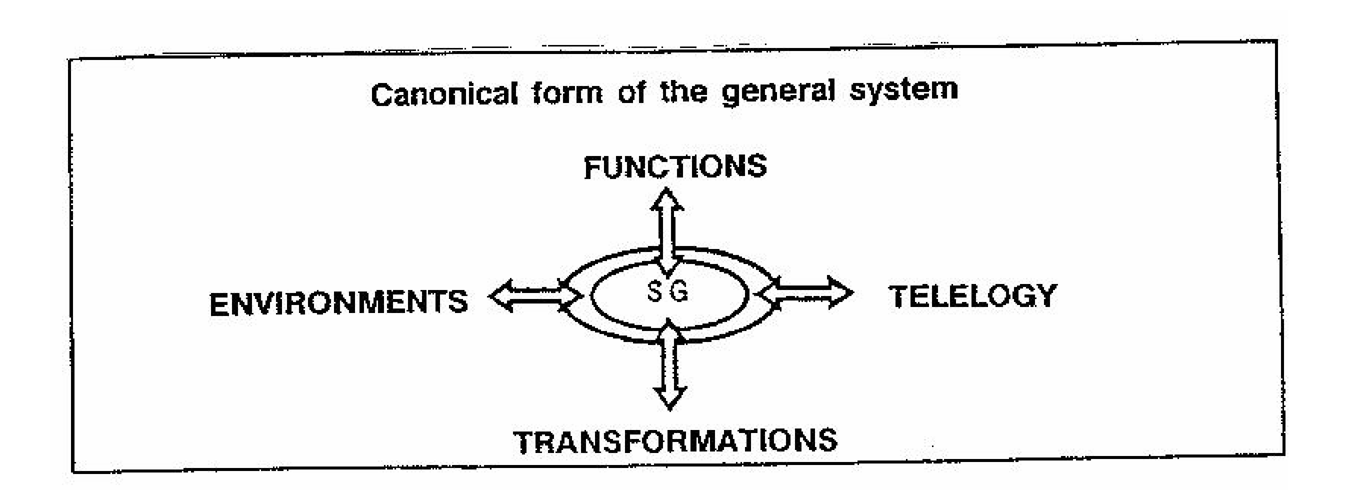
Sans doute L. de Vinci et G.B. Vico ne se référaient-ils pas littéralement notre concept contemporain de Système Général, mais lorsque nous nous interrogeons sur leur *méthode* de modélisation des phénomènes perçus complexes, c'est bien la méthode (ou le formalisme) de la modélisation systémique que nous reconnaissons. Qu'on lise "*l'Introduction à la méthode de Léonard de Vinci"* de P. Valéry (1890,20) ou *"la Méthode des études de notre temps*" (1708) de G.B. Vico, traduite et présentée par A. Pons (1984), on ne pourra manquer d'y retrouver les arguments constitutifs de notre génotype Système - Général.

A la fois matrice et règle de modélisation complexe, le génotype système - général doit nécessairement être présenté par ces deux faces inséparables qui constituent la pièce dont il est le titre, la présentation *(diplomatique)* et représentation *(théâtrale)* :

Matrice, il est modèle de processus, enchevêtrement d'actions identifiables, à la fois flux et champ, fonctionnement et transformation, cinématique et dynamique : modèle presque classique du système, réseau ouvert de processeurs désignables ('boites noires'.., ou mieux, 'engins noirs') en interrelations activables, permettant de représenter les transferts temporels de familles d'objets proçessés .(transférés et transformés), réseau agençable téléologiquement en niveaux. Processus pouvant être entendus auto-référentiellement, capable donc de se représenter (ou d'engramer les représentations de) leurs activités, de s'informer et de mémoriser donc. Processus pouvant être compris comme capable de manifester des comportements téléonomiques *(goal-seeking behavior.* finalité unique exogène) et éventuellement téléologiques (finalités multiples et endogènes finalisés et finalisant), et susceptibles ainsi d'être interprétés en terme de décidabilité : processus incorporant des processus d'élaboration et sélection de décision et donc des processus de diagnostics intelligents, d'invention et de finalisation.

Cette "lecture" du système général, matrice de modélisation de phénomènes complexes, se construit par équilibrations cognitives successives à partir de sa *forme canonique :*

On a présenté, dans *La théorie du système général, théorie de la modélisation* (1977-1990), cette construction et ses justifications historiques, épistémologiques et expérimentales, en définissant cette forme canonique par la conjonction successive des grands paradigmes de la modélisation que l'on peut reconnaître dans l'histoire de l'expérience modélisatrice des disciplines scientifiques. Forme canonique dont on rappelle ci-dessous pour mémoire la représentation idéogrammatique classique (en remarquant qu'elle "reconstitue sensiblement la même forme canonique que celle de *l'Inventio* de la Rhétorique que synthétisait Cicéron: *"Ca fait quoi, pour quoi, dans quoi, devenant quoi* ?").



Règle de modélisation, le système général est aussi Organisation, ou mieux, comme propose de l'écrire E Morin (1977, 1980) qui a su mettre en valeur dans son intelligible complexité, cette deuxième face, **Organisaction**, action d'organiser (l'organisant) et résultat de cette action (l'organisé). Règle qui exprime d'abord les conjonctions (ou les inséparabilités) de la M.S. , conjonction du système observant et du phénomène modélisé *(représenter une organisation, n'est-ce pas organiser une représentation*[26]) ; conjonction d'un projet et d'un contexte ; conjonction d'opération de décision et de leurs représentations par des informations, conjonction de nécessité, d'aléas et de possibles ; …

Règle qui exprime aussi l'intelligible complexité de l'action de toute organisation, sous sa forme canonique, capable à la fois de maintenir et de se maintenir (autorégulation) et de relier et de se relier (autoréférence) et de produire et de se produire (auto-poïese) ; Organisation et éco - organisation et ré - organisation argumentera E. Morin dans le tome II de *la Méthode* (1980)

C'est par la médiation du concept *d'information organisationnelle* que se reconnaîtront l'intelligibilité *et* la modélisabilité de ce paradigme de l'organisation (qu'il faudrait donc appeler *le paradigme du syntagme de la M.S.,* si l'on veut bien interpréter ici le concept de paradigme dans le sens socio épistémologique que lui a donné T.S Kuhn, 1963-1972, et le concept de syntagme dans le sens d'une unité grammaticale ou d'un jeu de règles formelles que lui donne l'étymologie et la linguistique saussurienne). E. Morin le souligne très pertinemment, en proposant d'écrire le concept d'organisaction sous une forme sans doute lourde mais qui dissuadait les tentatives de réduction simplificatrice d'un concept 'opérateur de complexité' :

Eco – Auto – Ré - Organisation

informationnelle, communicationnelle, computationnelle

Il fallait, pour reconnaître cette médiation de l'Information - Organisationnelle (ou de *l'Organisation informée s'informant en formant l'organisation qui la forme),* articuler intelligiblement les deux faces du génotype *Système Général*', sa face matricielle, construite sur les métaphores quasi énergétiques des processus, des réseaux, des flux, des champs, des niveaux (qu'exprime la forme canonique du système général) ; et sa face procédura1e, construite sur des métaphores moins tangibles (que je propose de symboliser par le label *"inforgéthique",* construit sur la conjonction de l'INFormation et de l'ORGanisation, entité purement conceptuelles, définie dans l'Univers *Ψ).* qui rendent compte *de l'interaction complexe* et intelligible de *l'information formant l'organisation qui la forme),*

Canonical Model of ORGANIZA(C)TION

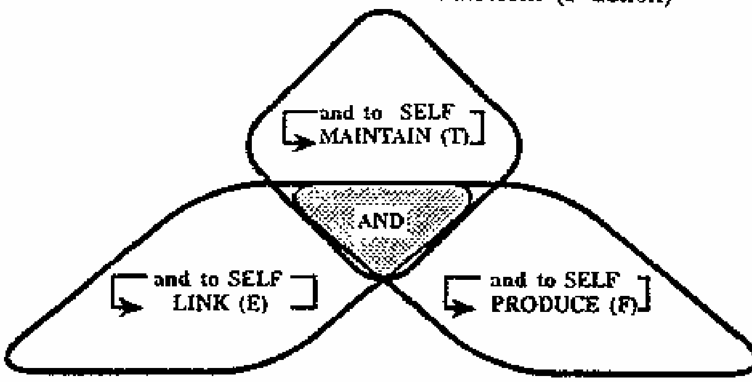
CONJUNCTION OF THREE ARCHETYPE ACTIONS T, E, F

Organization describes the property of a system in general able
AT THE SAME TIME

to regulate AND to self regulate (T action)

to relate AND to self relate (E action)

to transform AND to self transform (F action)



These three actions are recursive and express thus the conjunction of the archetype teleological actions expressing the General System:

TO FUNCTION :	to Maintain and to Relate and to Produce
AND	AND
To SELF TRANSFORM:	to self Maintain and self Relate and to self Produce
IN an Environment,	FOR some Aims

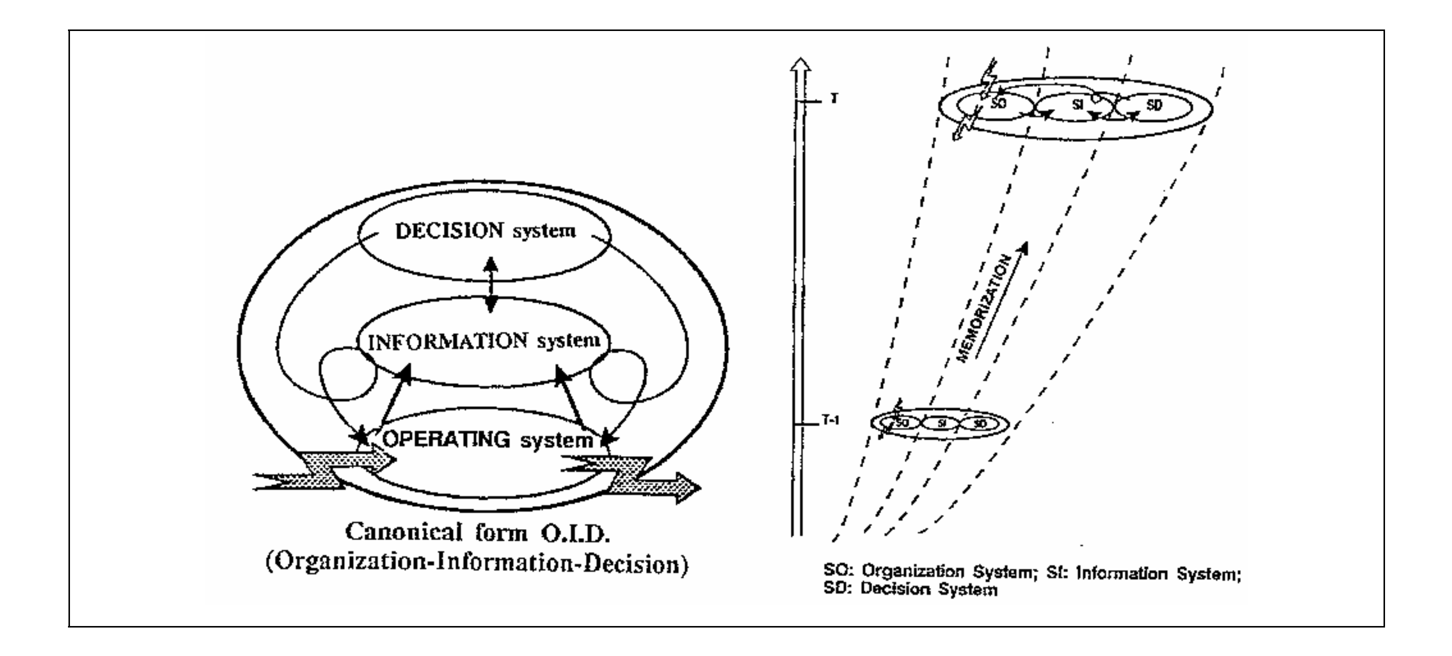
The formalisation of the conjunction of these two conjunctions which are both recursive:



expresses the AUTONOMY of ORGANIZACTION of a COMPLEX SYSTEM

Cette articulation entre le "S.G. - Matrice" et le "S.G. - Procédure" s'argumente par *le formalisme du Systéme-Organisation* s'exprimant par une forme canonique que l'on peut établir soit en partant de la conception systémique classique (voir, par exemple JL. Le Moigne 1977-l990, p, 141), soit en partant de la conception organisationnelle (dualité de l'organisant et de l'organisé : voir par exemple JL Le Moigne 1984), Cette *forme* canonique du Système – Organisation va permettre de mettre en évidence la fonction de mémorisation inhérente à la modélisation de tout phénomène perçu complexe, entre les fonctions de symbolisation (ou d'auto représentation) et de finalisation, privilégie plus spontanément les formes canoniques du système général pour la première et de l'organisation pour la seconde.

On doit se borner ici à rappeler pour mémoire l'idéogramme représentant cette forme canonique dite du "système-organisation" devenue familière aux praticiens de la conception des systèmes d'information,



IV. DES FORMES CANONIQUES AUX FORMALISMES DE LA M.S.

De même qu'il ne suffit manifestement pas de disposer d'un bon outil pour bien s'en servir, la disposition des quelques-unes des formes canoniques par lesquelles nous nous sommes proposés de définir les premiers formalismes de la modélisation systémique ne suffit pas à une pratique agile de la modélisation à fin d'intervention dans les systèmes perçus complexes. La compétence, là comme ailleurs, s'acquiert par l'expérience, mais, peut-être plus q u 'ailleurs, cet apprentissage est rendu difficile par la complexité de l'évaluation des performances. La critique du raisonnement

calculateur (*La raison pure)* est plus aisée que la critique du raisonnement délibératif (*La faculté de juger),* Apprentissage compliqué encore par cette illusion si courante, soulignée récemment encore par P. Watzlawick[27] *et qui parait si logique, qui veut qu'un problème très complexe ne puisse être résolu que par une stratégie de complexité au moins égale.*

Illusion tellement courante que je peux craindre que les experts-és/systèmes-complexes que sont par exemple les responsables de grands systèmes administratifs (recherche, culture, éducation, aménagement, etc.) qui auraient commencé à lire cette étude, abandonneront leur lecture avant cette conclusion, tant ils tiendront pour insuffisamment compliquées les quelques formes canoniques que l'on vient de présenter fort succinctement comme les formalismes de la M.S. Les formalismes résolutoires de la théorie des systèmes dynamiques non linéaires (et les riches appareils symboliques qui les accompagnent, chaos, bifurcation, catastrophes, complexité Non-Polynominales, etc...) par exemple, leurs semblent beaucoup plus dignes d'attention, et ils regrettent que tant de méditations épistémologiques préalables les détournent de ce qui doit leur importer: maîtriser la complexité par plus de complexité encore. La relative simplicité formelle des formalismes de la M.S. n'est pas susceptible de les rassurer sur sa pertinence, même si on leur rappelle que la relative simplicité du génotype les conduira peut-être à une meilleure intelligibilité de la complexité des modèles phénotypes qu'ils construiront à partir de ce génotype.

‘Est-il modèle plus complexe que celui du *«Discours sur la Montagne»*, et pourtant nous le tenons comme l'exemple parfait de la simplicité biblique’ rappelait il y a longtemps E. Morin. Certes ajoutait-il plus récemment[28], ‘*la complexité appelle la stratégie’*, mais cette stratégie est une stratégie de **la** modélisation et non une stratégie de la résolution. (Une solution finale ?): les symboles décidément nous aident à penser dans la complexité !) ; Autrement dit, les stratégies qu'appellent la complexité sont les stratégies de l'intelligence, de la reformulation des problèmes, de la refinalisation des systèmes, de la renégociation permanente, des relations des acteurs, de la construction téléologique de nouvelles représentations, d**e** la symbolisation-mémorisation-finalisation.

A la différence de la modélisation analytique, la modélisation systémique (et la dialectique, dont elle est souvent la descendante) ne prétend pas d'abord à la résolution, mais à la compréhension. L'hypothèse de la complexité du monde connaissable invite à produire quelques sens multiples, sans doute enchevêtrés et s'auto transformant dans cette complexité. H.A. Simon présente cet argument en d'autres termes, en observant que les modes de résolution que nous pratiquons naturellement et que nous pouvons souvent simuler artificiellement, sont des modes

tâtonnants et téléologiques de transformations successives et interminables de représentations : '*Searching is the end*'[29].

Les formalismes de la modélisation systémiques nous invitent sans cesse à concevoir d'autres représentations et donc d'autres systèmes de symboles, par de multiples et simples heuristiques investigatrices ("*heuristic search*") visant à explorer de façon tâtonnante les fins intermédiaires que permettent le moyen ou le modèle que l'on vient de reconnaître, puis les moyens ou les modèles nouveaux que nous suggèrent la fin intermédiaire que l'on vient de se proposer. Ces exercices tâtonnants qui guident les formalismes de la M.S. ('*Quoi ?, Dans, Pour, Devenant quoi?' ; 'Si organisé, alors organisant, donc informant, donc informé, donc mémorisant, donc finalisant', etc...*) peuvent prendre les tours plus formels que proposent aujourd'hui les langages et les outils de l'Intelligence Artificielle ('Mean-end analysis' ; 'Hill-climbing processes' ; 'Blackboard' ; 'Alerteurs' ; Browsers' ; interfaçages graphiques, hypermédias etc..). Ils nous ramènent toujours, entre hasard et nécessité, à la quête des projets du modélisateur, et donc au projet fondateur de la modélisation systémique : 'Symbol and search', détours (tropes) et procédures (topes), Disegno et Ingénium. …

Ne demandons pas trop à la méthode, fut-elle celle de la M.S. Car, concluait G.B. Vico, '*La méthode nuit à l'ingéniosité ; et l'ingéniosité a été donné à l'homme pour savoir, c.est à dire pour faire'*[30]. On comprendra que cet appel à l'ingéniosité dans la représentation (symbole et "shunks") comme dans le raisonnement (topos) ne nous encourage pas à pousser plus avant ici la discussion des formalismes de la M.S. Il faut pourtant, en guise de conclusion, inviter le lecteur à poursuivre cet exercice à fin pédagogique.

D'autres formes canoniques de la communication (code et canal, assimilation et accommodation), de la décision (Intelligence, conception, sélection), de la cognition (symbolisation, computation), de la finalisation (géno-phéno-telos), se construisent et se ré équilibrent mutuellement dans une ingénierie qui n'est plus d'application mais de conception.

Entendons l'élucidation de ces prochains formalismes de la M.S. par la parabole du peintre devant sa toile que nous propose H.A. Simon[31].

'*Dans la réalisation d'une peinture à l'huile, chaque nouvelle touche de couleur déposée sur la toile crée une sorte '.organisation qui fournit une source continue d'idées nouvelles au peintre. L'action de peindre est un processus d'interaction cyclique entre le peintre et la toile, dans lequel les objectifs en cours conduisent vers de nouveaux coups de pinceaux pendant que l'organisation graduellement changeante du tableau suggère de nouveaux objectifs. ..'*

NOTES

[1] *Cf. H.A. Simon: "Reason in human affairs" (1983).*

[2] *Références à l'article "Représentation et Connaissance'" de J. Ladrière dans l'Encyclopedia Universalis : les deux faces du concept de représentation, la passive (le résultat) et l'active (l'action) y sont caractérisé par ces deux images de la représentation: diplomatique pour la première, théâtrale pour la seconde.*

[3] Référence à la parabole de "l'abeille et l'architecte" proposée par K. Marx dans le Capital (Ed. Pléiade, T.I., p. 728).

[4] *Référence à mon article sous ce titre, "l'intelligence de la complexité", dans UNU "Sciences et Pratiques de la Complexité" 1984/1986.*

[5] *Rédigée en latin sans doute vers 1629 ava t le Discours de la Méthode (1637) et inachevé (21 règles sur les 36 annoncées). Ce ne texte fut publié que cinquante ans après la mort de Descartes (voir les Oeuvres, dans l'édition Pléiades).*

[6] *"Les logiciens réservent au terme forma1isatio le sens de l'élaboration d'un système 1ogjque formel" L. Frey dans P. Fraysse (Ed) : "Les modèles et la formalisation du comportement", 1967, p 328*

[7] *Dans P. Fraysse (Ed) 1967; 7a, p 06 , 7b, p 30*

[8] *Je pense par exemple à Y. Barel. Voir "Sur l'invention de la «Nouvelle Dialectique» selon Yves Barel" , dans M. Amiot, L Brahms et I. Billard, (Eds) : "Système et paradoxe; autour de la pensée d.Y Barel", Ed. du Seuil,1993*

[9] *Cette interprétation de la pensée de Pierce a été souvent reprise. Elle fut, je crois, présentée pour la première fois, par G.G. Granger dans "L'Epistémologie génétique et l'étude de la pensée symbolique" dans un recueil collectif d'hommage à J. Piaget (R.E.S.S, Tome XIV, 1976, N"38-39, pp. 203-218).*

[10] *(10) Ces deux fonctions conjointes du symbole sont présentée par A Newell et H.A. Simon, tant dans "Human Problem Solving", 1972, pp. 24-34, que dans leur célèbre "Conférence Turing" : "Computer science as empirical inquiry, Symbol and Search", 1976*

[11] *Cette présentation des formalismes par la dualité des "topes et tropes" m'est suggérée par une étude de Ch. Roig, .'Rhétorique cognitive: un essai sur les bases rhétoriques de la connaissance socio-politiq ue" (1986) repris dans "Rhétorique et analyse socio-politique" publié dans G, Duprat (Ed.) : "Connaissance du politique.'. 1990, PUF. Dans cette étude, cette dualité est présentée de façon beaucoup plus fine et nuancée que je ne peux le faire ici*

[12] *Cf. P. Watzlawick, (Ed,). "L'invention de la Réalité" 1981/198*

[13] *Cf. ses articles dans Y. Rey et B, Prieur. Ed., 1991. p. 55.*

[14] *Sur cet article de 1943. ses traductions el. les commentaires qu'il a suscité, voir A. Demail1y et].L. Le Moigne : "l'actualité de la téléologie'. RIS. 1987.*

[15] *Dans "Logique et Méthode chez Aristote", j.M Le Blond a montré l'importance considérable de la réflexion aristotélicienne sur les méthodes de raisonnement "non parfaitement syllogistique"*

[16] *Voir H.A. Simon: "From Substantive to Procedural Rationality" 1976, repris dans "Models of bounded rationality". 1982. On trouvera une traduction de cet article dans PISTES. 1992, et une discussion de ces concepts dans JL Le Moigne 1993.*

[17] *A. Newell et H.A. Simon ont, dans leur célèbre 'Conférence Turing', souligné l'intérêt du concept de "heuristic search" que l.on propose de traduire ici par "investigation heuristique".*

[18] *G,B. Vico dans son célèbre "De la très ancienne philosophie des peuples italiques'1710). Voir I édition TER, 1987, p. 10 ou p. 58*

[19] *Voir H.V. Foerster :"Observing Systems"*

[20] *Référence à une étude de J Pitrat : "Un système intelligent doit pouvoir observer son propre comportement" (1991*

[21] *Référence à P. Lévy "L'idéographie dynamique", 1992*

[22] *Des concepts de Systémographie et Système Général sont présentés et discutés dans j.L. Le Moigne : '.La théorie du Système Général' (1977, 1990) et 'la Modélisation des Systèmes Complexes" (1990)*

[23] *Dans "UNU, .Sciences et Pratiques de la Complexité'. 1986, p. 293*

[24] *Cité par M. Kemp, dans la traduction de MacCurdy, CU f 502, 1162, Ce texte est interprété dans une étude de j,L, Le Moigne publiée dans F. Tinland (Ed) "Système Naturels et Systèmes Artificiels" (1991)*

[25] *Voir par exemple '"La méthode des études" dans "La vie de G.B. Vico lui-même", éditée par A. Pons. 1983*

[26] *J'emprunte cette formule heureuse a F. Wolinsky qui la propose dans sa thèse de doctorat (1990, Université Paris 6, LAFORIA),*

[27] *Dans une étude publiée dans Y. Rey et B. Prieur. d. 1991, p. 38*

[28] *Dans H. Atlan, "Les théories de la complexité", actes du colloque de Cerisy, 1991-P.295*

[29] *Dans H.A. Simon. "Reason in human affairs", 1983, p. 7*

[30] *Dans GB. Vico "De la très ancienne philosophie" p 55 de l'édition TER, 1987*

[31] *Dans HA Simon "La science des systèmes.:, p 166 de la traduction française (1991*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES
telles qu'établies en 1992.

[1] Amiot M, Brahms L, Billard 1, eds (1993) Systèmes et paradoxes; autour de la pensée d'Y. Barel. Seuil, Paris.
[2] Aristote (1967) Rhétorique (Livres 1, II, III). Editions Les Belles Lettres, Paris.
[3] Aristote (1983) Les Topiques. Editions Librairie J. Vrin, Paris.
[4] Aristote (1983, 1987) Les premiers analytiques (III) et les seconds analytiques (IV). Editions Librairie J. Vrin, Paris.
[5] Arnaud A, Nicole P (1970) La logique ou l'art de penser (1662: la logique de Port-Royal). Flammarion-Coll. Champ, Paris.
[6] Bachelard G (1934-1940) Le nouvel esprit scientifique. PUF, Paris.
[7] Demailly A, Le Moigne JL (1987) Actualité de la téléologie, concept scientifique par excellence. Rev Int Systémique 1: 239-245.
[8] Descartes R (1953) Oeuvres et Lettres. Gallimard-La Pléïade, Paris.
[9] Diderot D (1779) L'Encyclopédie, Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers. Vol. 32. Editions Pellet, Genève.
[10] Dupuy JP (1986) Autonomy and complexity in sociology. ln: The Science and Praxis of Complexity. United Nations University, Tokyo, pp 255-266.
[11] Frey L (1967) Langages logiques et processus intellectuels. ln: Les modèles et la formalisation du comportement. Editions CNRS, Paris, pp 327-340.
[12]Hegel F (1972, 1976, 1981) Science de la logique. 3 Vol., Editions Aubier, Paris.
[13] Klir J, Valach M (1966) Cybernetic Modelling. Hiliffe Books LTD, London.
[14] Kuhn TS (1962, 1970) The Structure of Scientific Revolutions. The University of Chicago Press, Chicago, 111.
[15] Ladrière J (1989) Représentation et Connaissance. Encyclopaedia Universalis, Paris.
[16] Le Blond JM (1939-1973) Logique et méthode chez Aristote. Editions Librairie J. Vrin, Paris.
[17] Le Moigne JL (1977, 1990) La théorie du système général, théorie de la modélisation. 2ème ed. augmentée; 3ème édition augmentée. PUF, Paris.
[18] Le Moigne JL (1980) Une axiomatique: les règles du jeu de la modélisation systémique. Economie et Société, série E.M. n° 6, tome xiv, nos 8, 9, 10.
[19] Le Moigne JL (1984) Trois théorèmes de la théorie générale de l'organisation. ln: Colloque "Développement des sciences et pratiques de l'organisation". AFCET, Paris.
[20] Le Moigne JL (1985) The intelligence of complexity. ln: The Science and Praxis of Complexity. United Nations University, Tokyo, pp 35-61.
[21]Le Moigne JL (1987) Les nouvelles sciences sont bien des sciences: repères historiques et épistémologiques. Rev Int Systémique 1(3): 295-318.
[22] Le Moigne JL (1989) Quelle épistémologie pour une science des systèmes naturels "qui sont avec cela artificiels" ? Rev Int Systémique 3(3): 251-272.
[23] Le Moigne JL (1989) La science des systèmes. Encyclopaedia Universalis, Paris.
[24] Le Moigne JL (1990) La modélisation des systèmes complexes. Dunod, Paris.
[25] Le Moigne JL (1990) Epistémologie constructiviste et science de l'organisation. ln: AC Martinet, ed, Epistémologie et science de gestion. Economica, Paris.
[26] Le Moigne JL (1991) Sur les fondements épistémologiques de la science de la cognition. ln: E Andreewsky, ed, Systémique et Cognition. Dunod, Paris, pp 11-49.
[27] Le Moigne JL (1991) Voir la nature avec les yeux de l'art. ln: F Tinland, ed, Systèmes naturels et systèmes artificiels. Editions Champ-Vallon, Coll. Milieu, 01420 Seyssel, France.
[28] Le Moigne JL (1992) The second principle of organizational engineering: the general intelligent action principle. ln: Proc Int Conf Economics and Artificial Intelligence. CEMIT 92/CECOIA III/JASMIN, Tokyo, pp 33-38.

[29] Le Moigne JL (1993) Sur la capacité de la raison à discerner Rationalité Substantive et Rationalité Procédurale. ln: JC Passeron, LA Gérard- Varet, eds, Calculer et raisonner, les usages du principe de rationalité dans les sciences sociales. Editions de l'EHESS, Paris, chap. 2.
[30] Lévy **P** (1991) L'idéographie dynamique. Editions Le concept moderne, Genève.
[31]Marx K (1965) Oeuvres -Economie. 2 Vol. Gallimard-La Pléiade, Paris.
[32] Morin E (1977) La Méthode. La nature de la nature. Vol 1. Seuil, Paris.
[33] Morin E (1980) La Méthode. La vie de la vie. Vol 2. Seuil, Paris.
[34] Morin E (1986) La Méthode. La connaissance de la connaissance. Vol 3. Seuil, Paris.
[35]Morin E (1991) La Méthode. Les idées, leur habitat, leur vie, leurs moeurs, leurs organisations. Vol 4. Seuil, Paris.
[36] Morin E (1991) De la complexité: complexus. ln: F Fogelman Soulié, ed, Les théories de la complexité; autour de la pensée d'Henri Atlan. Actes du colloque de Cerisy, Seuil, Paris, pp 283-296.
[37]Newell A, Simon HA (1972) Human Problem Solving. Prentice Hall Inc., Englewood-Cliffs, New Jersey.
[38] Newell A, Simon HA (1976) Computer science as empirical inquiry: symbols and search. Communication of the ACM 19: 113-126.
[39] Pascal B (1963) Oeuvres complètes. Seuil, Paris. (See English translation in Great Books of the Western World. Vol 33. Encyclopaedia Britannica, Inc., Chicago, 1952).
[40] Pierce CS (1987) Textes fondamentaux de sémiotique. Editions Méridien, Klincksiecke, Paris.
[41]Piaget J (1967) Logique et connaissance scientifique. Gallimard-Encyclopédie de la Pléïade, Paris.
[42] Piaget J (1976) Les sciences sociales avant et après Jean Piaget (Hommage publié à l'occasion du 80ème anniversaire de Jean Piaget et précédé de son autobiographie) (Busino G, ed.). Rev Europ Sci Soc, tome XIV, nos 38-39. Droz, Genève.
[43] Pitrat J (1991) An intelligent system must and can observe its own behaviour. ln: Actes COGNITIVA. Editions AFCET, Paris.
[44] Rey Y, Prieur B (1991) Système, éthiques, perspectives en thérapie familiale. Editions ESF, Paris.
[45] Roig C (1990) Rhétorique et analyse socio-politique. ln: G Duprat, ed, Connaissance du politique. PUF, Paris, pp 96-133.
[46] Simon HA (1967) The use of information processing languages in psychology. In P Fraysse, ed, Les modèles et la formalisation du comportement. Editions du CNRS, Paris, pp 303-317.
[47]Simon HA (1977) Does scientific discovery have a logic ? (1973). ln: [48].
[48] Simon HA (1977) Models of Discovery. D. Reidel Pub., Dordrecht, Holland.
[49] Simon HA (1969, 1981) The Sciences of the Artificial. MIT Press, Cambridge Mass.
[50] Simon HA (1982) From substantive to procedural rationality, 1976. ln: HA Simon, ed, Models of Bounded Rationality. Vol. 2 .MIT Press, Cambridge Mass, p 424-443.
[51]Simon HA (1983) Reason in Human Affairs. Stanford University Press, Ca.
[52] Simon HA, Langley P, Bradshaw GL, Zytkov JM (1987) Scientific Discovery Computational Exploration of the Scientific Pro cesses. MIT Press, Cambridge Mass.
[53]Valéry P (1979) Cahiers 1894-1945. 2 Vol. Gallimard-Pléïade, Paris.
[54]Valéry P (1972) Oeuvres complètes. 2 Vol. Gallimard-Pléïade, Paris.
[55]Vico GB (1981) Vie de G.B. Vico écrite par lui-même (suivi de La méthode des études de notre temps 1708). Grasset, Paris.
[56] Vico GB (1987) De la très ancienne philosophie des peuples italiques (1710). Editions Trans Europ Express, 32120 Monvezin, France.
[57] Vinci L (1987) Les carnets de Léonard de Vinci. 2 Vol. Gallimard-Coll. TEL, Paris.
[58] Von Foerster H (1984) On self organizing systems and their environments. ln: Observing Systems. Intersystems Publications Seaside, Cal., pp 2-22.

[59] Von Foerster H (1991) Ethique et cybernétique de second ordre. ln: Y Rey, B Prieur, eds, Système, Ethiques, Perspectives en thérapie familiale. Editions ESF, Paris. (See English translation: Ethics and Second Order Cybernetics. ln: Cybernetics and Human Knowing. Vol 1, n° 1, pp 9-19, 1992).
[60] Watzlawick **P** (1988) L'invention de la réalité -Contribution au constructivisme. Seuil, Paris.
[61] Wolinski F (1990) Thèse de doctorat. Université Paris 6 (LAFORIA).